

**19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND**

**DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT**

Off nl gungsschrift
DE 199 14 793 A 1

(51) Int. Cl.⁷:
H 04 B 10/08
G 08 C 23/06
H 04 L 12/26

21 Aktenzeichen: 199 14 793.0
22 Anmeldetag: 31. 3. 1999
43 Offenlegungstag: 26. 10. 2000

DE 199 14 793 A 1

⑦ Anmelder:
Siemens AG, 80333 München, DE

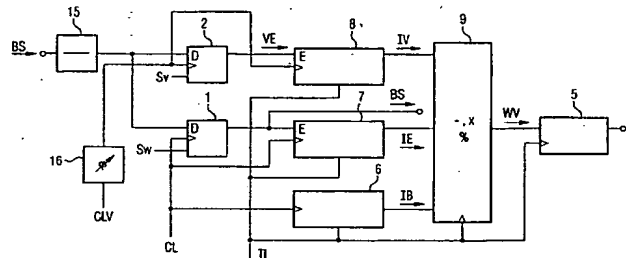
(72) Erfinder:
Bleck, Oliver, 80639 München, DE; Müllner, Ernst,
Dr.-Ing., 80995 München, DE; Glingener, Christoph,
Dr.-Ing., 83620 Feldkirchen-Westerham, DE;
Neudecker, Albrecht, 81369 München, DE; Heppner,
Björn-Haiko, Dr.-Ing., 81477 München, DE;
Wiesmann, Rainer, Dr.-Ing., 82269 Geltendorf, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54) Verfahren und Anordnung zur Messung der Signalqualität in einem optischen Übertragungssystem

57 Ein empfangenes binäres Signal (BS) wird mit unterschiedlichen Schwellen abgetastet, die Abtastergebnisse werden integriert und abgespeichert. Aus den gemessenen Wahrscheinlichkeitsverteilungen oder Wahrscheinlichkeitsdichteverteilungen können Rückschlüsse auf die Signalqualität, beispielsweise die Bitfehlerrate, gemacht werden und das System optimiert werden.



DE 199 14 793 A 1

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Anordnung zur Messung der Signalqualität in einem optischen Übertragungssystem. Die Ergebnisse können zur Verbesserung der Signalqualität, beispielsweise zur Optimierung der Dispersionskompensation verwendet werden.

Aufgrund der Messungen von statistischen Eigenschaften eines empfangenen Binärsignals können Aussagen über dessen Qualität und damit auch der Eigenschaften des Übertragungssystems und der Übertragungsstrecke gemacht werden. Diese Aussagen können wiederum zur Optimierung des Systems, beispielsweise zur Einstellung eines optimalen Abtastzeitpunktes, einer optimalen Abtastschwelle oder zur Dispersionskompensation, verwendet werden.

Aus der deutschen Offenlegungsschrift DE 195 04 896 A1 ist eine Überwachung der Signalqualität transparenter optischer Netze bekannt, bei der eine stichprobenartige Abtastung eines Signals vorgenommen wird. Die so gewonnenen Amplituden-Stichproben werden mittels eines bekannten statistischen Verfahrens ausgewertet. In einer älteren Patentanmeldung Aktenzeichen ... DE 198 17 078.8 wird dieses Verfahren weiterentwickelt, in dem nur die äußeren Flanken einer aus den Meßergebnissen abgeleiteten Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion ausgewertet werden. So kann beispielsweise die Bitfehlerrate abgeschätzt werden. Das hier beschriebene Verfahren setzt jedoch sehr schnelle Abtast- und Speichermöglichkeiten voraus.

In einem Aufsatz von Hitoshi Takashita und Naoya Henmi Optical Fiber Communication Conference (OFC) 99, San Diego, California, FJ 2-1, p. 149-151 wird in einem Artikel "A novel data format free bit-by-bit quasi-error monitoring method for optical transport network" eine Empfangsschaltung mit zwei Abtastschaltungen verwendet, die unterschiedliche Schwellen aufweisen. Durch Messungen wird ein direkter Zusammenhang zwischen der Bitfehlerrate und den Vergleichsergebnissen beider Abtastschaltungen festgestellt. Weitere statistische Aussagen werden nicht gemacht.

Aufgabe der Erfindung ist es, Messverfahren anzugeben, mit denen statistisch auswertbare Verteilungsfunktionen ermittelt werden können.

In weiteren Teilaufgaben sind die Anwendung zur Verbesserung der Signalqualität, beispielsweise durch Optimierung der Dispersionskompensation, und eine geeignete Meßanordnung anzugeben.

Die Hauptaufgabe wird in unabhängigen Patentansprüchen 1 und 2 angegebenen Verfahren gelöst.

Eine Anwendung des Verfahrens zur Dispersionskompensation ist im Anspruch 10 und eine Anordnung zum Messen der Signalqualität ist in dem unabhängigen Anspruch 12 angegeben.

Vorteilhaft bei dem Verfahren nach Anspruch 1 ist, daß durch Variieren der Schwelle eines zweiten Entscheiders von Meßintervall zu Meßintervall und durch Vergleich der abgetasteten Daten eine Wahrscheinlichkeitsverteilung gemessen wird, aus der die Verteilungsdichtefunktion für das Auftreten bestimmter Empfangspegel zu den Abtastzeitpunkten – die Abtastwerte – ermittelt werden können. Vorteilhaft ist eine sich an die Abtastung anschließende Integration der binären Entscheidungen, so daß nur eine einfache und langsame Verarbeitung erforderlich ist.

Eine besonders vorteilhafte Ausbildung der Erfindung verzichtet auf den Vergleich der mit unterschiedlichen Schwellen abgetasteten Bits und zählt (integriert) jeweils innerhalb eines Meßintervalls die bei einer bestimmten Schwelle als logische Eins (oder als logische Null) bewerte-

ten Bits sowie die Anzahl der Bits. Bei ungleichgewichtigen Codierungen kann die Anzahl der logischen Einsen (oder logischen Nullen) im Arbeitskanal mitbewertet werden, um bei unterschiedlichen Verteilungen der Binärzustände Schwankungen zu vermeiden. Aus einer Vielzahl von Messungen mit unterschiedlichen Abtastschwellen wird wieder die Wahrscheinlichkeitsfunktion ermittelt.

Durch die Verwendung von mehreren Meßkanälen mit unterschiedlichen Abtastschwellen kann die Meßzeit erheblich reduziert werden.

Aufgrund der gemessenen Verteilungskurven kann auf die Qualität des empfangenen Binärsignals und damit die Eigenschaften des optischen Übertragungssystems geschlossen werden. Die gewonnenen Erkenntnisse können zur Optimierung des Systems, beispielsweise der Abtastung sowie der Dispersionskompensation, verwendet werden.

Eine geeignete Meßeinrichtung kann im Zeitmultiplex-Betrieb sowohl die wesentlichen Signalparameter wie Wellenlänge, Leistung, Signal-Rausch-Abstand als auch statistische Messungen durchführen.

Die Erfindung wird anhand von Ausführungsbeispielen näher erläutert.

Es zeigen:

Fig. 1 eine Meßeinrichtung zur Messung der Wahrscheinlichkeitsverteilung,

Fig. 2 eine Wahrscheinlichkeitsdichteverteilung in Abhängigkeit von unterschiedlichen Schwellwerten,

Fig. 3 eine mit einer Schaltung nach Fig. 1 gemessene Wahrscheinlichkeitsverteilung,

Fig. 4 eine weitere Meßeinrichtung zur Messung der Wahrscheinlichkeitsverteilung,

Fig. 5 eine ideale Wahrscheinlichkeitsdichteverteilung,

Fig. 6 eine gemessene Wahrscheinlichkeitsverteilung bei unterschiedlichen Schwellwerten,

Fig. 7 eine hieraus abgeleitete Wahrscheinlichkeitsdichte,

Fig. 8 eine Wahrscheinlichkeitsverteilung der binären Zustände,

Fig. 9 die dazugehörige Verteilungsdichte,

Fig. 10 eine Variante der weiteren Meßeinrichtung zur schnelleren Messung,

Fig. 11 Wahrscheinlichkeitsdichteverteilungen in Abhängigkeit von der Dispersion,

Fig. 12 die Ermittlung der optimalen Dispersionskompensation und

Fig. 13 eine Meßanordnung.

In Fig. 1 ist eine Meßeinrichtung zur Bewertung der Signalqualität dargestellt. Sie enthält eine erste Abtaststufe 1 im "Arbeitskanal", die zum Zeitpunkt der wirksamen Flanke des Taktsignals C1 mit einem ersten zumindest annähernd optimalen Schwellwert S_w (w – working channel) das im Basisband vorliegende elektrische Binärsignal BS abtastet. Der einstellbare Schwellwert S_w liegt zweckmäßigerweise etwa in der Mitte zwischen den beiden idealen Signalpegeln, die die logische Eins bzw. die logische Null repräsentieren. Parallel hierzu erfolgt gleichzeitig die Abtastung mittels einer zweiten Meß-Abtaststufe 2 in einem "Meßkanal", deren Schwellwert S_v (v – variabel) ebenfalls veränderlich ist. Die Ausgänge beider Abtaststufen sind über ein Exklusiv-ODER-Gatter 3 zusammengefaßt, das als Ausgangssignal einen Vergleichswert angibt, der bei ungleichen Abtastergebnissen logisch 1 ist. Innerhalb eines Meßintervalls werden die Vergleichswerte VD von einem (digitalen oder analogen) Integrator 4 aufsummiert. Der so ermittelte Vergleichssummenwert IW wird dann in einen Speicher 5 einer nicht dargestellten Auswerteeinheit mit einem Intervalltaktsignal TI eingeschrieben, der auch die Zähler zurücksetzt. Dieser Vorgang wird für beispielsweise 200 unterschiedliche Schwellwerte wiederholt, bis sich eine möglichst ge-

naue Verteilungsfunktion zwischen dem kleinsten und dem größten möglichem Abtastwert bzw. Schwellwert ergibt.

In Fig. 2 ist zum besseren Verständnis zunächst die Verteilungsdichte von Abtastwerten eines empfangenen Binärsignal dargestellt. Diese würde man – im Gegensatz zur Messung mit der Einrichtung nach Fig. 1 – erhalten, wenn direkt die Amplituden der Abtastwerte gemessen würden. Die waagerechte Achse gibt die möglichen Amplituden der Abtastwerte S_i an; auf der senkrechten Achse ist die Verteilungsdichte $P(S_i)$ für das Auftreten von Abtastwerten mit bestimmten Amplituden S dargestellt.

Für die Verteilungsdichte gilt

$$P(S) = \frac{\sum S_i}{\sum \text{Bits}}$$

Bei einem eingezeichneten Amplitudenwert S_{50} tritt ein erstes Maximum auf. Dieser Amplitudenwert entspricht etwa dem mittleren Wert für die logische Null. Mit zunehmenden Amplitudenwerten nimmt die Verteilungsdichte wieder ab, bis sie ein neues Maximum bei einem Amplitudenwert S_{150} erreicht, der den mittleren Amplitudenwert für die logische Eins repräsentiert. Anschließend fällt die Funktion wieder ab.

Bei der mit einer Meßanordnung nach Fig. 1 durchgeführte Messung werden aber, wie bereits beschrieben, nicht mehr die einzelnen Amplitudenwerte abgetastet und gespeichert, da dies sehr schnelle Schaltungen erfordern würde. Dagegen wird bewertet, ob die Abtastwerte in beiden Abtaststufen übereinstimmen oder nicht. Da gemäß Fig. 1 die ungleichen Abtastwerte integriert werden, ergibt sich bei der in Fig. 3 ermittelten Verteilungsfunktion $V(S)$ ein Minimum, wenn die Abtastschwelle S_w und S_v identisch sind. Wird jetzt der variable Schwellwert S_v verkleinert, so wird es mit zunehmender Differenz der Schwellwerte zu immer häufigeren Abweichungen kommen. Ein sehr niedriger variabler Schwellwert S_v der zweiten Entscheiderstufe 2 wird daher fast immer ein Überschreiten der Schwelle bewirken. Damit werden als Abtastwerte im Meßkanal logische Einsen überwiegen, obwohl als Bit eine logische Null empfangen wurde, deren Pegel jedoch oberhalb der Schwelle lag. Mit oberhalb des konstant gehaltenen Schwellwertes S_w liegenden und weiter zunehmenden Schwellwerten ergibt sich ebenfalls ein Anstieg der Verteilungsfunktion, da nunmehr die Abtaststufe des Meßkanals häufiger die logische Null abgibt, da der erforderliche Pegel von einer log. Eins des Binärsignals nicht erreicht wird.

Da bei der Meßeinrichtung nach Fig. 1 stets alle oberhalb (bzw. unterhalb) des variablen Schwellwertes S_{v1} liegenden Abtastwerte bewertet werden, entspricht die gemessene Verteilungsfunktion Fig. 3 dem Integral der Verteilungsdichtefunktion nach Fig. 2. Oder, anders ausgedrückt, Fig. 2 ist der Betrag der Ableitung der in Fig. 3 dargestellten Funktion. Als Beispiel ist ein Integrationswert $IW1$ für zwei bestimmte Schwellwerte S_w und S_{v1} eingezeichnet.

Nur wenn die variable Schwelle in sehr feinen Stufen verändert wird, ergibt sich eine relativ genaue und daher glatte Verteilungskurve. Dies ist aber auch nur dann der Fall, wenn die Messungen ausreichend exakt sind und nicht statistischen Schwankungen unterliegen. Die Meßintervalle für die unterschiedlichen Abtastschwelle sollten daher entsprechend den unterschiedlichen Vergleichssummenwerten gewählt werden. Bei nur wenigen auftretenden Unterschieden werden die Meßintervalle vergrößert, während bei häufig auftretenden Unterschieden die Meßintervalle verkürzt werden können.

Die Auswertung der Verteilungsdichtekurven kann ent-

sprechend dem bekannten Verfahren erfolgen. So ist es allgemein üblich, einen Signalqualitätsparameter Q zu berechnen aus:

$$Q = \frac{A}{\sigma_a + \sigma_b}$$

wobei $A = b - a$ die Signalamplitude ist und σ_a und σ_b die Standardabweichungen bei einer angenommenen Gaußverteilung sind. Näheres kann der älteren Anmeldung DE 198 12 078.8 entnommen werden oder C. Glingener: "Modellierung und Simulation faseroptischer Netze mit Wellenlängenmultiplex"; WFT-Verlag, 1998, Seite 102 bis 118.

In Fig. 4 ist eine weitere besonders vorteilhafte Einrichtung zur Messung einer Wahrscheinlichkeitsverteilung dargestellt, aus der ebenfalls die Verteilungsdichte abgeleitet werden kann. Diese Schaltung enthält wieder zwei Abtaststufen 1 und 2, aber bis zu drei Zähler bzw. Integratoren 6, 7 und 8. Der erste Zähler 6 zählt die Anzahl IB der Bits während eines Meßintervalls, den Bitsummenwert. Der zweite Zähler 7 ist im Arbeitskanal an den Ausgang ist der Abtaststufe 1 angeschaltet und zählt die Anzahl der logischen Einsen, die mit zweiter Summenwert IE bezeichnet werden, während eines Meßintervalls. Der dritte Zähler 8 ist im Meßkanal an den Ausgang der zweiten Abtaststufe 2 angeschaltet und zählt bei unterschiedlichen Schwellwerten S_v ebenfalls die Anzahl IV mit logisch Eins bewerteten Bits VE , den ersten Summenwert IV. Die Summenwerte IB, IE und IV werden am Ende eines Meßintervalls einer Zwischenverarbeitungseinrichtung 9 zugeführt, in der die Normierung stattfindet oder zunächst in Speicher eingeschrieben und später normiert und verarbeitet. Danach wird der Meßvorgang mit einer veränderten Abtastschwelle wiederholt, bis die in Fig. 6 dargestellte Wahrscheinlichkeitsverteilung $WV(S)$ ermittelt werden kann.

Geht man zunächst von einer Gleichverteilung von logischen Einsen und Nullen des Binärsignals BS aus, dann würde man bei einer Auswertung der Abtastwerte die in Fig. 5 dargestellte Wahrscheinlichkeitsdichte $WD(S)$ erhalten.

Mit der Meßeinrichtung nach Fig. 4 wird jedoch die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten eines bestimmten Binärzustandes gemessen. Wird nun mit einem so niedrigen Schwellwerte begonnen, daß im Meßkanal alle empfangenen Signalwerte oberhalb der Schwelle liegen und deshalb als logische Eins gewertet werden, so wird eine größtmögliche Wahrscheinlichkeit ermittelt. Wird dann der Schwellwert von Meßintervall zu Meßintervall erhöht, so wird sich die Wahrscheinlichkeit zunächst stetig reduzieren bis sie bei einem mittleren Schwellwert – eine Gleichverteilung von logischen Nullen und Einsen vorausgesetzt – etwa bei 0,5 liegt, um dann weiter auf Null abzunehmen. Die Ermittlung der Bitanzahl während eines Meßintervalls dient zur Normierung der Meßergebnisse bei ungleich langen Meßintervallen. Für die Wahrscheinlichkeitsverteilung von logischen Nullen im Meßkanal würde man eine gestrichelt eingezeichnete komplementäre Verteilungsfunktion erhalten.

Entsprechend den bereits bei der Meßanordnung nach Fig. 1 angeführten Zusammenhängen kann durch Differenzieren der Verteilungsfunktion nach Fig. 6 und. Betragsbildung eine Wahrscheinlichkeitsdichte WDI gemäß Fig. 7 ermittelt werden, die "invers" zur Verteilungsdichte der Abtastwerte des Signals ist (oder es wird die Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion der logischen Nullen ermittelt bzw. dieses Problem durch Betragsbildung vermieden).

Bei der Meßanordnung ist es gleichgültig, ob das Auftreten von logischen Einsen oder logischen Nullen bewertet wird. Alternativ zur Zählung der Bits innerhalb eines Meß-

intervalls können auch beide Abtastwerte Null und Eins gezählt werden, da diese sich zur Gesamtzahl der empfangenen Bits ergänzen. Wenn eine Gleichverteilung von logischen Einsen und Nullen vorliegt, kann auch der die logischen Einsen summierende Zähler 7 entfallen. Der Zähler wird dagegen benötigt um den Einfluß einer Ungleichverteilung von Nullen und Einsen weitestgehend durch Quotientenbildung der Summenwerte im Meßkanal und im Arbeitskanal zu eliminieren.

Entsprechend Fig. 8 kann auch die Differenz der Summenwerte IE – IV für einen Binärzustand, hier die logische Eins, für die erste Abtaststufe 1 und die Meß-Abtaststufe 2 ausgewertet. Diese Maßnahme wirkt etwa wie die in Fig. 1 angegebene Schaltung: Es werden die Unterschiede zwischen Arbeits- und Meßkanal bewertet. Die Differenzbildung kann mit der Quotientenbildung kombiniert werden. Gegenüber Fig. 6 ergibt sich eine waagerechte Verschiebung der Wahrscheinlichkeitsverteilungsfunktion WW. Aus der Wahrscheinlichkeitsfunktion kann ebenfalls wieder die in Fig. 9 dargestellte Wahrscheinlichkeitsdichteverteilung ermittelt werden, die für die Auswertung besonders geeignet ist. Da sich aber beide Funktionen mathematisch ineinander überführen lassen, ist grundsätzlich auch stets die Auswertung der Verteilungsfunktion möglich.

In Fig. 10 ist eine Meßeinrichtung dargestellt, mit der die insgesamt zum Erstellen einer Wahrscheinlichkeitsverteilung benötigte Meßzeit verkürzt werden kann. Ist nur eine Abtaststufe mit variabler Schwelle vorgesehen, so muß diese Schwelle nach jedem Meßintervall für eine neue Messung geändert werden. Werden dagegen mehrere Abtaststufen 21 bis 2n mit unterschiedlichen Schwellwerten $Sv_1 - Sv_n$ verwendet, dann können mehrere Messungen gleichzeitig durchgeführt und die Gesamtmeßzeit entsprechend verkürzt werden. Es ist nur ein geringer zusätzlicher Hardwareaufwand für die Abtaststufen und Integratoren 81 bis 8n erforderlich. Entsprechendes gilt auch für die Meßanordnung nach Fig. 1. Aus Kostengründen ist Realisierung mit einer der Anzahl der notwendigen Schwellwerte entsprechenden großen Anzahl von Abtaststufen noch nicht wirtschaftlich. Dann wäre nur ein Meßintervall erforderlich.

Um Aussagen über die Signalqualität treffen zu können, kann für die Messungen anstelle einer Veränderung der Schwellwerte oder zusätzlich auch eine Veränderung des Abtastzeitpunktes der Meß-Abtaststufe durch einen Phasenschieber 16 (Fig. 4) vorgenommen werden, dem ein gegenüber dem regulären Taktsignal Cl vorliegendes Taktsignal LV zugeführt wird. Wird diese Maßnahme zusätzlich durchgeführt, kann das gesamte Augendiagramm aufgrund statistischer Messungen erfaßt werden.

In Fig. 11 ist die Abhängigkeit der Verteilungsdichtefunktion bei unterschiedlichen Dispersionswerten dargestellt. Bei einer Dispersionsänderung verändert sich der Abstand der Maxima der Verteilungsdichtefunktion. Die Dispersion wird bei einer Installation oder Optimierung des Übertragungssystems – von einem Wert Null ausgehend – mit Hilfe eines in den Signalweg eingeschalteten einstellbaren Dispersionskompensators/Emulators 15 vergrößert oder verkleinert. Anschließend erfolgt jeweils die Messung der Wahrscheinlichkeitsverteilung und die Ermittlung des Abstandes ΔS zwischen den Maxima der Werte für Null und Eins. Bei größeren Abweichungen der Dispersion vom Optimum verringern sich die Abstände der Maxima für das Auftreten der beiden binären Signalwerten zugeordneten Abtastwerte sowohl bei negativen als auch bei positiven Abweichungen der Dispersion. In Abhängigkeit von der in ps/nm (Picosekunden/Nanometer) angegebenen Dispersionsänderung sind auf der Ordinate die Abstände zwischen den Maxima der Verteilungsdichtefunktion in Fig. 12 ange-

geben. Durch Auswertung der Abstandsfunktion Δs wird die Optimierung durchgeführt. Beispielsweise werden entsprechend Fig. 12 die fallenden Flanken der Meßkurve verlängert; deren Schnittpunkt bestimmt die optimale Dispersion. Die Meßkurven werden wieder mit einer anordnungsgemäß Fig. 1, 4 oder 10 gewonnen. Alternativ kann

In Fig. 13 ist eine Meßanordnung für Wellenlängen-Multiplexsignale (WDM-Signale) dargestellt. Über einen optischen Koppler 9 wird ein Teil des Binärsignals abgezweigt und über ein abstimmbares Filter 10 und einen optoelektronischen Wandler 12 einer Meß- und Auswerteeinheit 13 als elektrisches Basisbandsignal zugeführt. Diese mißt die wichtigsten Kanalparameter, wie Kanalleistung, Wellenlänge, Rauschabstand führt außerdem, wie vorstehend beschrieben, statistische Messungen der Signalqualität durch, um beispielsweise Aussagen über die Bitfehlerrate treffen zu können, die an ein Managementsystem TMN übermittelt werden.

Der wesentlicher Teil der Meßvorrichtung ist ein optischer Spektrumanalysator, mit dem wesentliche Eigenschaften wie Pegel, Wellenlänge und Rauschabstand bestimmt werden können. Das abstimbare Filter wirkt als Multiplexeinrichtung, um die Messungen mit vertretbarem Aufwand durchführen zu können. Die Wellenlänge des abgestimmten Filters kann mit Hilfe einer Eichvorrichtung 11 ausreichend genau eingestellt werden.

Eine Steuerung 14 sorgt für die sukzessive Prüfung der einzelnen WDM-Kanäle mit Hilfe einer Kanalauswahlschaltung 17. Sie bestimmt die Art der Messung. Bei statistischen Messungen bestimmt sie auch die Dauer der Meßintervalle.

Patentsprüche

1. Verfahren zur Messung der Signalqualität in optischen Übertragungssystemen, bei dem ein optisches Binärsignal in einem Arbeitskanal mit einem ersten Schwellwert (S_w) abgetastet wird und in einem Meßkanal zusätzlich mit einem zweiten Schwellwert abgetastet wird, dann die abgetasteten Bits verglichen und die daraus abgeleiteten Vergleichswerte (VD) integriert werden, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Binärsignal (BS) im Meßkanal während mehrerer Meßintervalle jeweils mit unterschiedlichen Schwellwerten (S_v) abgetastet wird, daß die durch Integration der so gewonnenen Vergleichswerte (VD) ermittelten Vergleichssummenwerte (IW) gespeichert werden und daß nach einer ausreichenden Anzahl von Meßintervallen mit unterschiedlichen Schwellwerten (S_v) die Verteilungsfunktion $V(s)$ der Vergleichswerte (VD) als Funktion des veränderlichen Schwellwertes (S_v) ermittelt wird.
2. Verfahren zur Messung der Signalqualität in optischen Übertragungssystemen, bei dem ein optisches Binärsignal (BS) in einem Arbeitskanal mit einem ersten Schwellwert (S_w) abgetastet wird und in einem Meßkanal mit einem zweiten Schwellwert (S_v) abgetastet wird, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Binärsignal (BS) im Meßkanal während mehrerer Meßintervalle jeweils mit unterschiedlichen Schwellwerten (S_v) abgetastet wird, daß die Anzahl der im Meßkanal abgetasteten logischen Nullen und/oder Einsen während jedes Meßintervalls integriert wird und als erster Summenwert (IV) gespeichert wird, daß die Anzahl der während einer Meßperiode empfangenen Bits ermittelt oder gemessen und als Bitsum-

menwert (IB) gespeichert wird und daß aufgrund der gespeicherten Summenwerte (IV) die Wahrscheinlichkeitsfunktion (WV(Sv), WW(Sv)) als Funktion des veränderlichen Schwellwertes (Sv) für das Auftreten eines Binärzustandes ermittelt wird. 5

3. Verfahren zur Messung der Signalqualität in optischen Übertragungssystemen, bei dem ein optisches Binärsignal (BS) in einem Arbeitskanal mit einem ersten Schwellwert (Sw) abgetastet wird und in einen Meßkanal mit einem zweiten Schwellwert (Sv) abgetastet wird, dadurch gekennzeichnet, daß das Binärsignal (BS) im Meßkanal während mehrerer Meßintervalle jeweils mit unterschiedlichen Schwellwerten (Sv) abgetastet wird, daß die Anzahl der im Meßkanal abgetasteten logischen Nullen oder Einsen während jedes Meßintervalls integriert wird und als erster Summenwert (IV) gespeichert wird, daß die Anzahl der während einer Meßperiode im Arbeitskanal empfangenen Nullen oder Einsen gemessen und als zweiter Summenwert (IE) gespeichert wird und daß aufgrund der gespeicherten Summenwerte (IV, IE) die Wahrscheinlichkeitsfunktion (WV(Sv), WW(Sv)) als Funktion des veränderlichen Schwellwertes (Sv) für das Auftreten eines Binärzustandes ermittelt wird. 25

4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß nach jedem Meßintervall die Differenz zwischen dem Summenwert der logischen Nullen des Meßkanals und logischen Nullen des Arbeitskanals oder der logischen Einsen des Meßkanals und logischen Einsen des Arbeitskanals gebildet wird, daß die Differenzwerte zwischengespeichert werden und daß aus den Differenzwerten die Wahrscheinlichkeitsfunktion WD(Sv) ermittelt wird. 30

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Wahrscheinlichkeitsverteilung (WV, WW) unter Berücksichtigung der zweiten Summenwerte (IE) im Arbeitskanal und/oder des Summenwertes (IB) der jeweils während eines Meßintervalls bewerteten Bits ermittelt wird. 35

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß unterschiedliche lange Meßintervalle verwendet werden.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß eine synchrone Abtastung des Binärsignals (BS) erfolgt. 45

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Abtastung parallel in mehreren Meßkanälen mit unterschiedlichen Schwellwerten (Sv1 bis Svn) erfolgt. 50

9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Abtastung parallel in mehreren Meßkanälen mit unterschiedlichen Schwellwerten (Sv1 bis Svn) während nur eines Meßintervalls erfolgt.

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß im Meßkanal der Abtastzeitpunkt nach jeweils einem Meßintervall geändert wird.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Messungen der Wahrscheinlichkeitsverteilungen mit unterschiedlich eingestellten Dispersionswerten erfolgen, daß die Meßergebnisse zwischengespeichert werden und daß daraus ein zumindest nahezu optimaler Wert für die Dispersionskompensation ermittelt wird. 65

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Wahrscheinlichkeitsdichteverteilung (P(S), PD(S), PI(S)) ermittelt wird

und daraus Kriterien für die Bewertung und/oder Optimierung der Signalqualität abgeleitet werden.

13. Anordnung zur Qualitätsüberwachung von WDM-Signalen, dadurch gekennzeichnet, daß eine Kanalauswahlschaltung (10) vorgesehen ist, mit der jeweils ein WDM-Kanal ausgewählt und, einer nach einer optoelektrischen Wandlung einer Meßeinrichtung (13) zugeführt wird, daß die wesentlichen Signalparameter gemessen werden und daß die Wahrscheinlichkeitsverteilung der Abtastungsergebnisse entsprechend einem der Ansprüche 1 bis 10 gemessen wird.

Hierzu 8 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

FIG 1

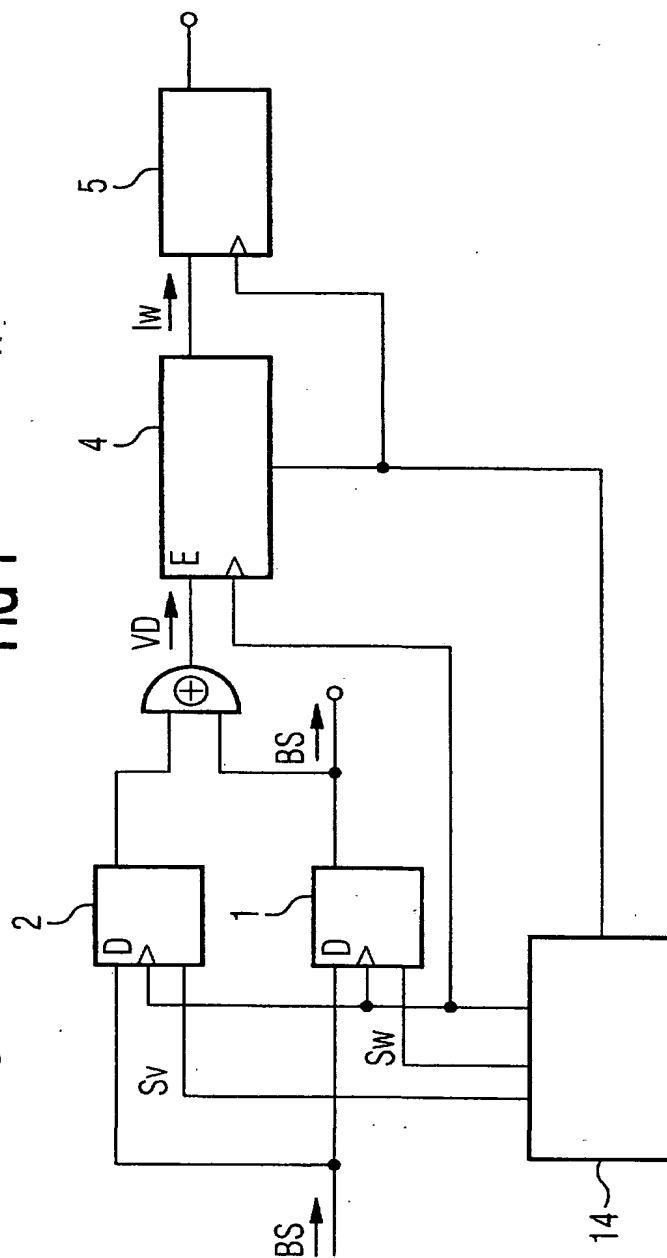


FIG 2

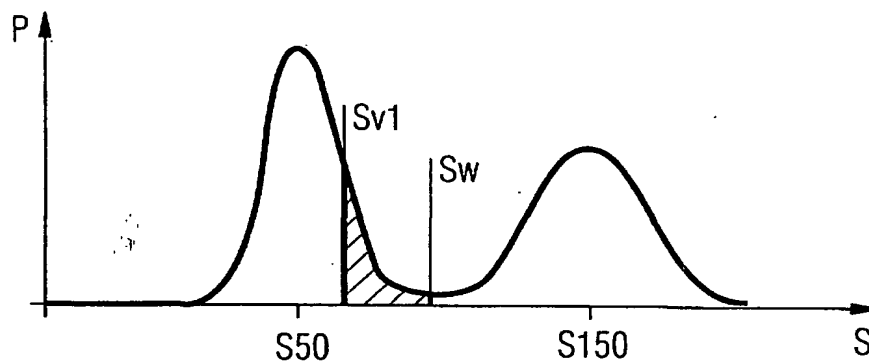


FIG 3

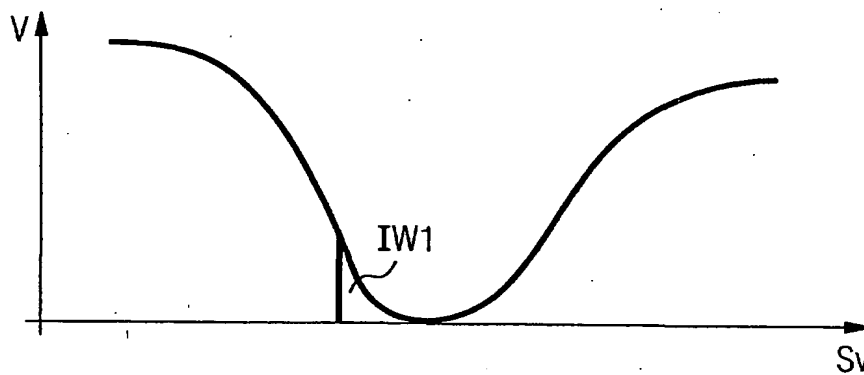
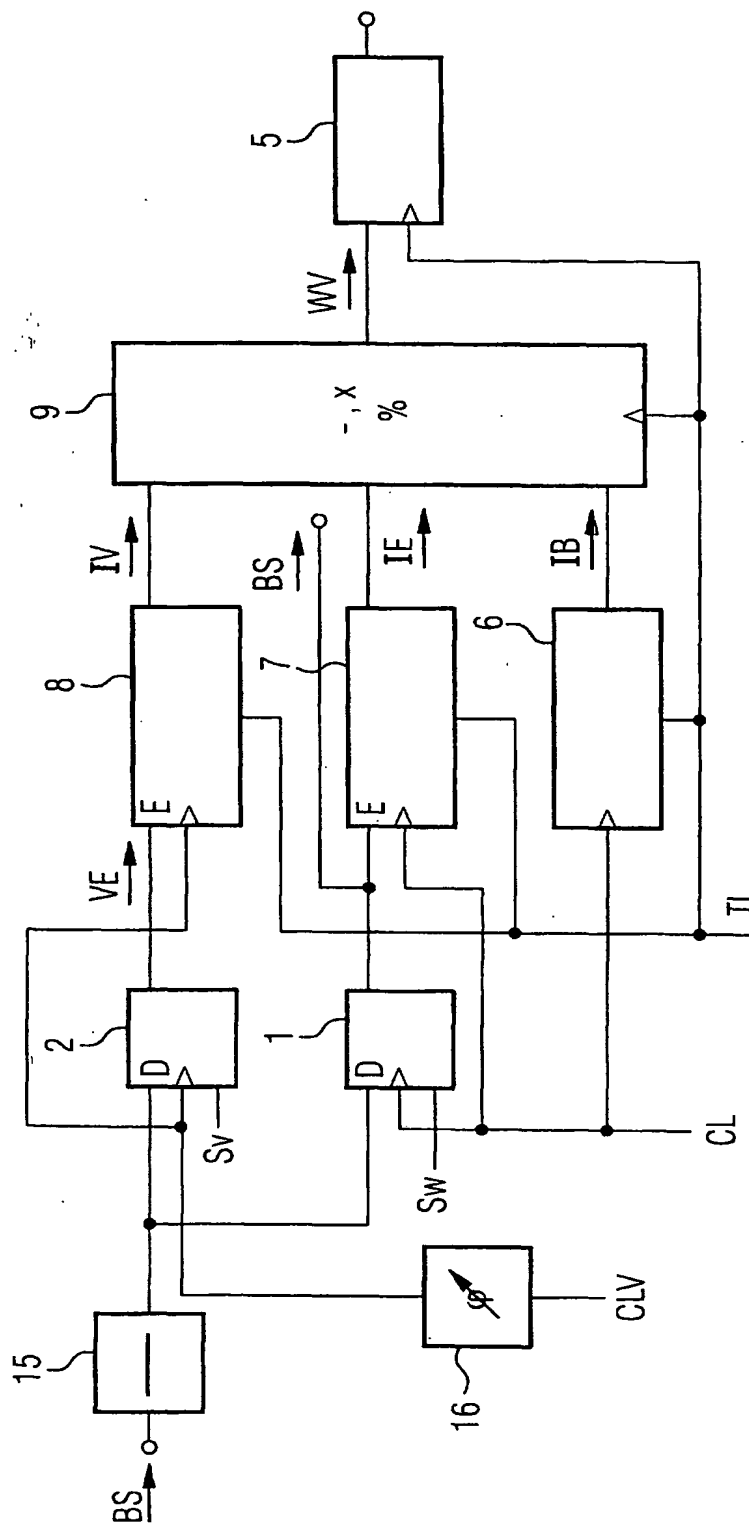


FIG 4



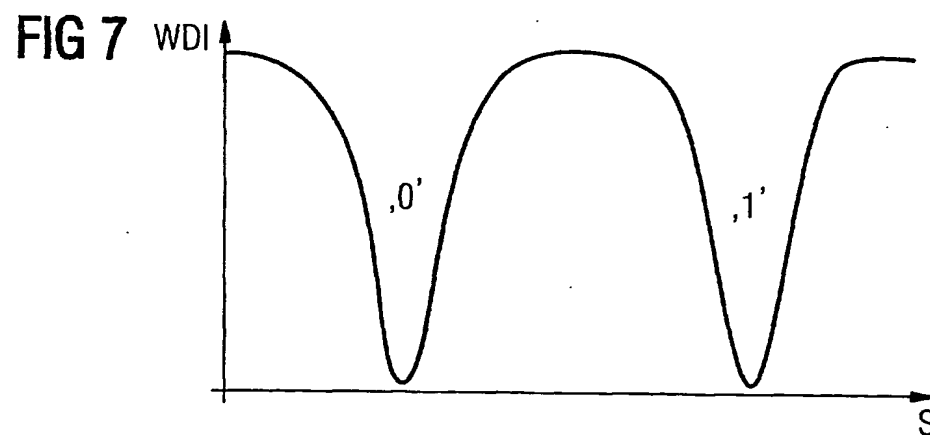
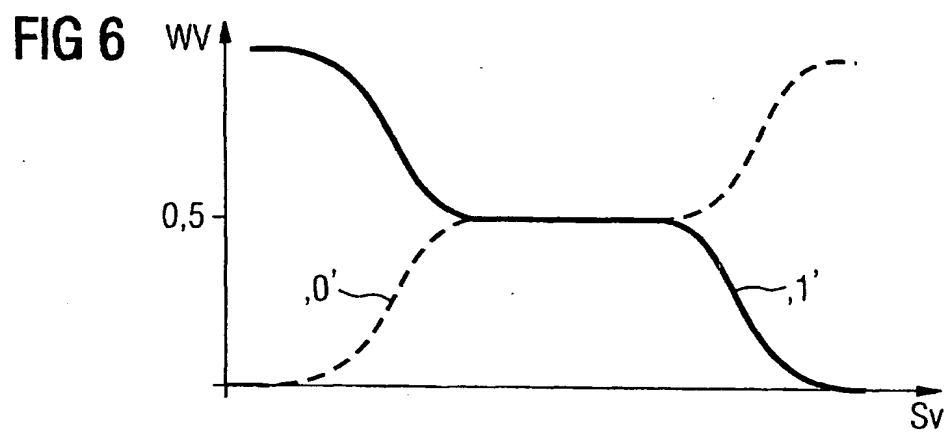
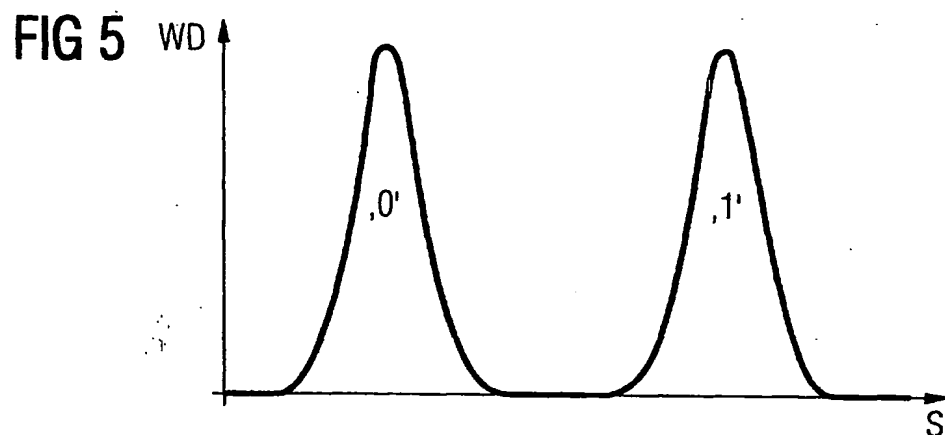


FIG 8

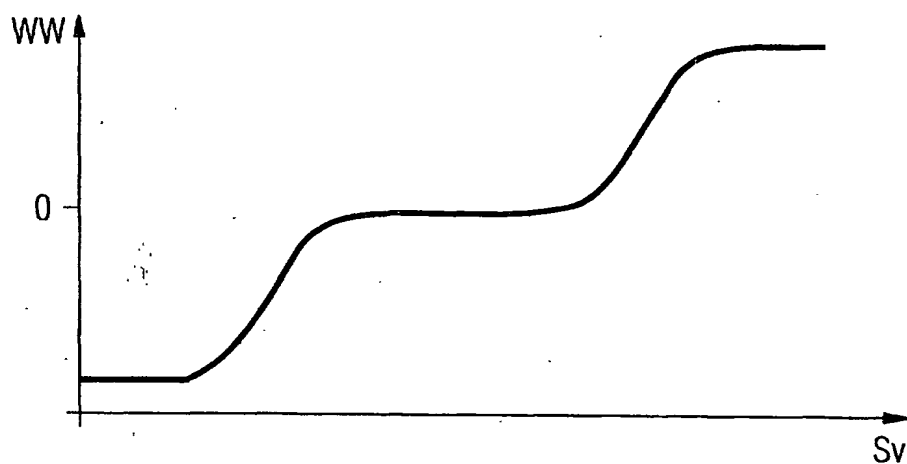


FIG 9

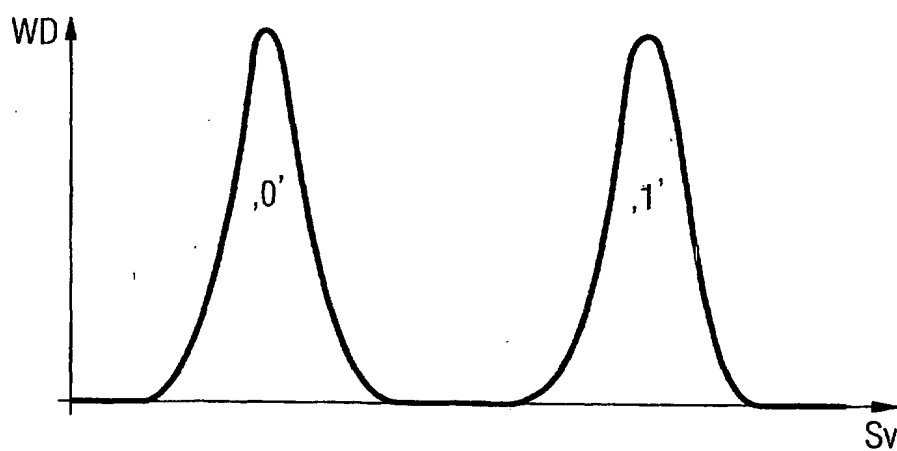


FIG 10

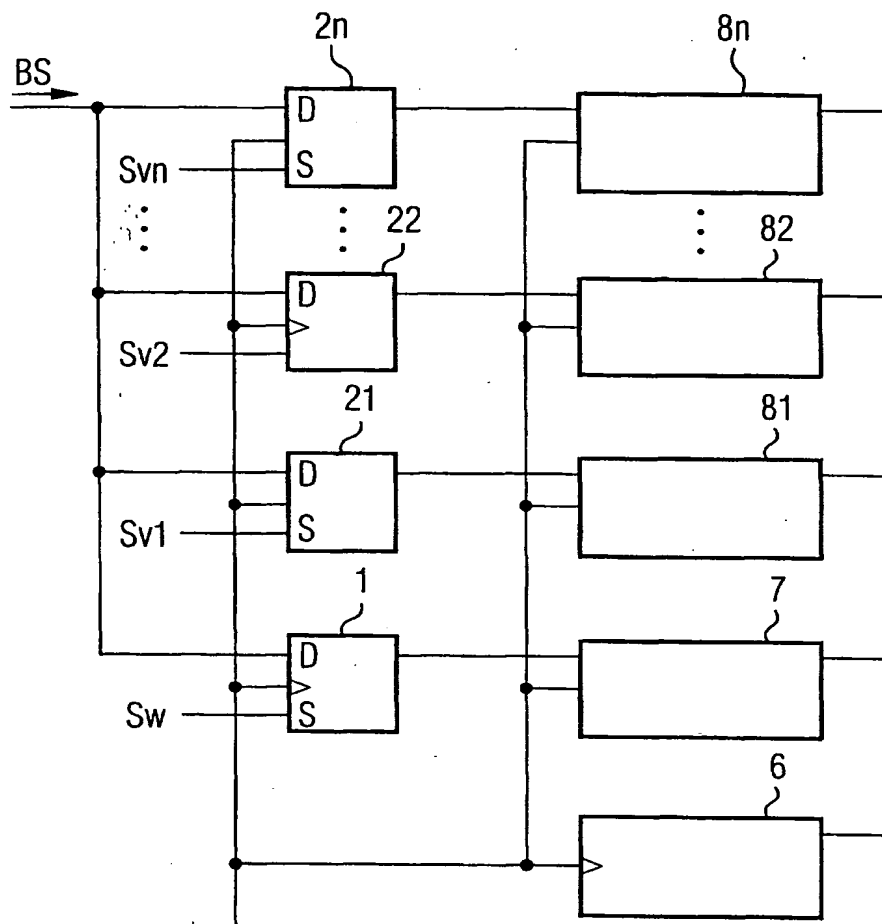


FIG 11

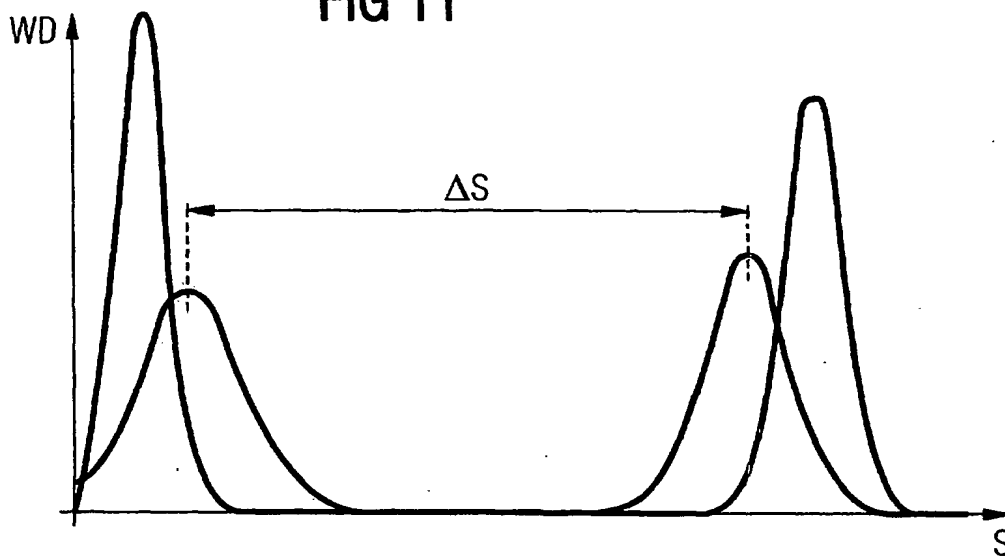


FIG 12

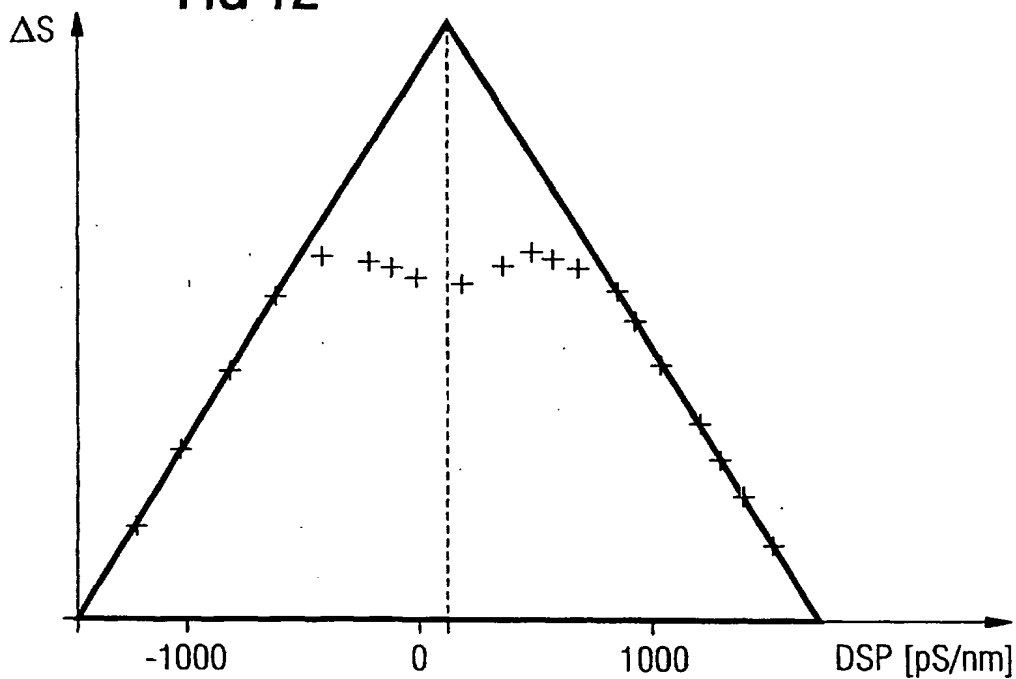


FIG 13

